

Modell zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der Einzelteilinstandsetzung¹⁾

Dr.-Ing. A. Schmidt, KDT, VEB Wissenschaftlich-Technisches Zentrum Landtechnik Dresden

Verwendete Formelzeichen

c	Korrekturfaktor
N	Bruchschwingspielzahl im Einstufenversuch
N _D	Grenzwahrschwingenspielzahl, bezogen auf die Dauerfestigkeit
N _{DS}	Grenzwahrschwingenspielzahl, bezogen auf die durch eine akkumulierte Schädigung abgefallene Dauerfestigkeit
N _i	Schwingenspielzahl der Wöhlerlinie, bezogen auf die jeweilige Kollektivstufe
N _{Si}	Schwingenspielzahl der Wöhlerlinie nach akkumulierter Schädigung
N _{0i}	Anfangsschwingenspielzahl
q	Faktor des Abfalls der Dauerfestigkeit
S _{erf}	erforderliche Sicherheitszahl
S _N	Sicherheitszahl, bezogen auf die Betriebsdauer
S _{vorrh}	vorhandene Sicherheitszahl
t [*] _H	Teilfolgezahl nach Haibach (nicht korrigiert)
t ₀	projektierte Nutzungsdauer
W ₅₀	Wiederholbarkeit der ETI unter Berücksichtigung der Sicherheitszahl, bezogen auf die Betriebsdauer
W ₉₀	Wiederholbarkeit der Einzelteilinstandsetzung für die Überlebenswahrscheinlichkeit 90%
σ _{max}	maximale Spannungsamplitude
σ _D	Dauerfestigkeit
σ _{DS}	durch akkumulierte Schädigung geminderte Dauerfestigkeit
φ	Wöhlerlinienexponent
Indizes	
k	gekerbt
m	mit Verfahrenseinfluß
n	Anzahl der Instandsetzungen
ö	ohne Verfahrenseinfluß
S	geschädigt

Fortsetzung von Seite 32

Perels, E.: Ratgeber bei Wahl und Gebrauch landwirtschaftlicher Geräte und Maschinen. Berlin: Verlag Paul Parey 1889.

Die Entwicklung des landwirtschaftlichen Maschinenwesens in Deutschland. Festschrift zum 25jährigen Bestehen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft. Berlin: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft 1910.

Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, H. 222: Maschinenprüfungen X. Berlin: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft 1912.

Die Chronik des Hauses Rud. Sack Leipzig 1863–1938. Hg. zum Fünfundsechzigjährigen Jubiläum 1938.

Dinklage, K.; Erker, K.; Prash, H.; Koschier, F.: Geschichte der Kärntner Landwirtschaft und bäuerliche Volkskunde. Klagenfurt: Verlag Johannes Heyn 1966.

Chambers, J. D.; Mingay, G. E.: The Agricultural Revolution 1750–1880. London: B. T. Batsford Ltd. 1966.

Fussel, G. E.: The Farmers Tools. A History of British Farm Implements. Tools and Machinery Before the Tractor Came. From A. D. 1500–1900. London: Melrose 1979.

Herrmann, K.: Pflügen, Säen, Ernten. Landarbeit und Landtechnik in der Geschichte. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch Verlag GmbH 1985. A 5280

1. Problemstellung

Zur Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion ist eine hohe Zuverlässigkeit der landtechnischen Arbeitsmittel bei gleichzeitiger Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und der Nutzungsdauer zu gewährleisten [1]. Die Einzelteilinstandsetzung (ETI) stellt eine Lösungsmöglichkeit zur wirtschaftlichen Gewährleistung der Funktionsfähigkeit von Einzelteilen in der Nutzungsdauer des Erzeugnisses dar. Durch die Verwendung instandgesetzter Einzelteile (IET) neben Neuersatzteilen (NET) wird jedoch die Zuverlässigkeit instand gesetzter Baugruppen und Maschinen beeinflusst. Die Ursache liegt darin, daß instand gesetzte Einzelteile meist ein anderes Ausfallverhalten als die entsprechenden Neuersatzteile aufweisen [2].

Ausgehend von der Zielstellung der Gewährleistung einer hohen Zuverlässigkeit landtechnischer Arbeitsmittel sind instand gesetzte Einzelteile nach den gleichen Prinzipien wie Neuersatzteile in die Zuverlässigkeitsanforderungen einzubeziehen [3].

Unter Beachtung technischer, technologischer, ökonomischer, organisatorischer und sicherheitstechnischer Kriterien erfolgt durch die ETI die Wiederherstellung der Betriebstauglichkeit der Einzelteile oder der Ersatz durch Neuersatzteile. Bei der Einzelteilinstandsetzung wird derzeit die sicherheitstechnische Grenze der Wiederholung der ETI meist subjektiv eingeschätzt. Für Einzelteile, bei deren Ausfall eine Gefährdung von Menschenleben besteht bzw. große Folgeschäden auftreten, im weiteren als Sicherheitsteile bezeichnet, wurden Einschränkungen getroffen.

Infolge der subjektiven Wiederholbarkeitsfestlegung begangene Fehler wirken sich bei einer zu geringen Wiederholbarkeit auf die Wirtschaftlichkeit und bei einer zu hohen Wiederholbarkeit auf die Zuverlässigkeit des landtechnischen Arbeitsmittels aus. Deshalb sind Untersuchungen zur wissenschaftlichen Bestimmung der Wiederholbarkeit der ETI unbedingt erforderlich. Nachfolgend wird eine Methodik der Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI vorgestellt [4], die eine Voraussetzung für die Leistungssteigerung der ETI hinsichtlich Quantität und Qualität bildet.

2. Modell zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI

2.1. Grundlagen

Bei Zuverlässigkeitsuntersuchungen an Neuteilen und IET werden 3 Formen unterschieden [5]:

- Haltbarkeitsuntersuchungen
- experimentelle Untersuchungen des Abnutzungsverhaltens
- Untersuchungen des Schädigungsverhaltens unter Einsatzbedingungen.

Da Haltbarkeitsuntersuchungen die Grundlage für andere Zuverlässigkeitsuntersuchungen darstellen, erfolgt die Wiederholbarkeitsermittlung auf deren Basis.

Eine Analyse von Belastungsformen ergab,

daß bei Landmaschinen in der Mehrzahl mehrstufige Belastungen auftreten [6]. Sie erfordern bei der Ermittlung der ertragbaren Betriebsdauer den Betriebsfestigkeitsnachweis. Auf das Problem der Wiederholbarkeitsbestimmung bezogen, findet der Betriebsfestigkeitsnachweis nicht im eigentlichen Sinn Anwendung. Er wird dazu genutzt, um im nachfolgenden Instandsetzungsintervall einen Dauerbruch des mehrfach instand gesetzten Einzelteils mit ausreichender Wahrscheinlichkeit auszuschließen [7]. Da der Betriebsfestigkeitsnachweis derzeit nur für NET vorliegt, mußten bestehende Standards zur Betriebsdauerermittlung auf die Problemstellung der ETI modifiziert werden, um sie auch bei IET anwenden zu können.

Entgegen der früheren Vorgehensweise der Berücksichtigung der Belastungen in der projektierten Nutzungsdauer sind die Belastungen in den durch die Instandsetzungsstrategie festgelegten Einsatzabschnitten und die infolge der ETI möglichen Veränderungen der Eigenschaften und Voraussetzungen der Einzelteile zum Ertragen der Belastungen dieser Einsatzabschnitte zu beachten.

Nachfolgend sollen ungeschweißte, mechanisch gekerbte, rotationsymmetrische Maschinenbauteile betrachtet werden. Um die Methodik der Wiederholbarkeitsermittlung bei Aufbereitungsverfahren anwenden zu können, sind zur analytischen Erfassung des Verfahrenseinflusses auf die Dauerfestigkeit grundlegende Untersuchungen notwendig.

2.2. Methodik der Wiederholbarkeitsermittlung der ETI

Für jeden Landmaschinenhersteller gibt es 2 komplexe Aufgaben in der Zuverlässigkeitssicherung [8]:

- Sicherung eines hohen Niveaus der Funktionsfähigkeit bei geringem spezifischen Aufwand an Material, Energie und lebendiger Arbeit in der Fertigung
- Sicherung einer wirtschaftlichen Gewährleistung der Funktionsfähigkeit in der Nutzungsdauer des Erzeugnisses.

Davon abgeleitet ist es notwendig, die ETI bereits im konstruktiven Entwicklungsprozeß der Einzelteile zu berücksichtigen. Da jedoch bisher die ETI im konstruktiven Entwicklungsprozeß im Sinn der Wiederholbarkeitsprojektion keine Beachtung fand, gilt es zunächst für das bisherige Einzelteilortiment, das bereits einer Nutzung unterlag bzw. mehrfach instand gesetzt wurde, die Wiederholbarkeit zu bestimmen. Dabei wird nach folgender Methodik vorgegangen:

- Einteilung der Einzelteile in instandsetzungswürdig und nicht instandsetzungswürdig

1) Diese Arbeit entstand während der wissenschaftlichen Tätigkeit des Autors an der TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Tafel 1. Einteilung der Einzelteile hinsichtlich der Schädigung im Einsatzabschnitt

Gruppe	Schädigung
A	Verschleiß (Einfluß der Ermüdung ist nicht maßgebend)
B	Ermüdung (Einfluß des Verschleißes ist nicht maßgebend)
C	Verschleiß und Ermüdung überlagert

- Festlegung des Weges zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI
- Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI auf analytischem Weg, z. B. über Standards des Vorschriftenwerks „Schwingfestigkeit im Maschinenbau“ [9]
- Ermittlung der ökonomischen Auswirkung der Anwendung der ETI
- experimentelle Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI unter Beachtung der Berechtigung dieser Untersuchungen durch den vorangegangenen Schritt der Methodik.

Tafel 2. Charakterisierung des Einflusses des Verfahrens der ETI und des Lastkollektivs des Einsatzabschnitts auf die Wiederholbarkeit der ETI

Kombination	Konstruktion	Verfahrenseinfluß der ETI	Lastkollektiv-einfluß	Wiederholbarkeit	durchzuführende Untersuchung
1	betriebsfest (unendliche Betriebsdauer)	schädigt nicht	schädigt nicht	unendlich	keine
2a		schädigt	schädigt nicht	begrenzt	anal./exp.
2b	Übergang zu Kombination 4	schädigt	schädigt	begrenzt	anal./exp.
3	betriebsfest (endliche Betriebsdauer)	schädigt nicht	schädigt	begrenzt	anal.
4		schädigt	schädigt	begrenzt	anal./exp.

2.2.1. Einteilung in instandsetzungswürdige und nicht instandsetzungswürdige Einzelteile

Die Einzelteile sind in bezug auf ihre Schädigung während der Nutzung zu charakterisieren. Ausgehend von der konstruktiven Auslegung der Einzelteile ist eine Gruppeneinteilung möglich (Tafel 1). Bei Einzelteilen der

Gruppe A handelt es sich um betriebsfest ausgelegte Einzelteile mit einer unendlichen Betriebsdauer auch nach der Durchführung der ETI. Für diese Gruppe ist die ETI unbegrenzt wiederholbar. Die Einzelteile der Gruppe B sind nicht instand setzbar. Bei Erreichen der projektierten endlichen Betriebsdauer sind die Einzelteile zu verschrotten. Bei Einzelteilen der Gruppe C ist über entsprechende Informationen des Herstellers zu prüfen, ob die Nutzungsdauer bis zur Aussonderung infolge Verschleiß geringer als die ertragbare Betriebsdauer ist. In Abhängigkeit von der schädigenden Wirkung des ETI-Verfahrens ist die ETI begrenzt wiederholbar.

2.2.2. Festlegung des notwendigen Weges zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI

Ausgehend von der konstruktiven Auslegung des Einzelteils und der Wirkung des Verfahrens der ETI auf die Festigkeit des Einzelteils ist die Gliederung der Wirkung des Lastkollektivs des Einsatzabschnitts in schädigend, bezogen auf die Ermüdung, und nicht schädigend möglich.

Entsprechend den vorliegenden Informationen erfolgt die Einteilung in die in Tafel 2 aufgeführten Kombinationen. Anhand dieser Beurteilung werden die notwendigen Wege zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI festgelegt. Der Betriebsfestigkeitsnachweis ist dabei auf analytischem und experimentellem Weg möglich.

Da bei den o. g. Einzelteilen die Möglichkeit besteht, daß sie von der Konstruktion her mit mehreren Verschleißstellen ausgestattet sind, ist der Nachweis der Wiederholbarkeit getrennt für alle Verschleißstellen zu führen.

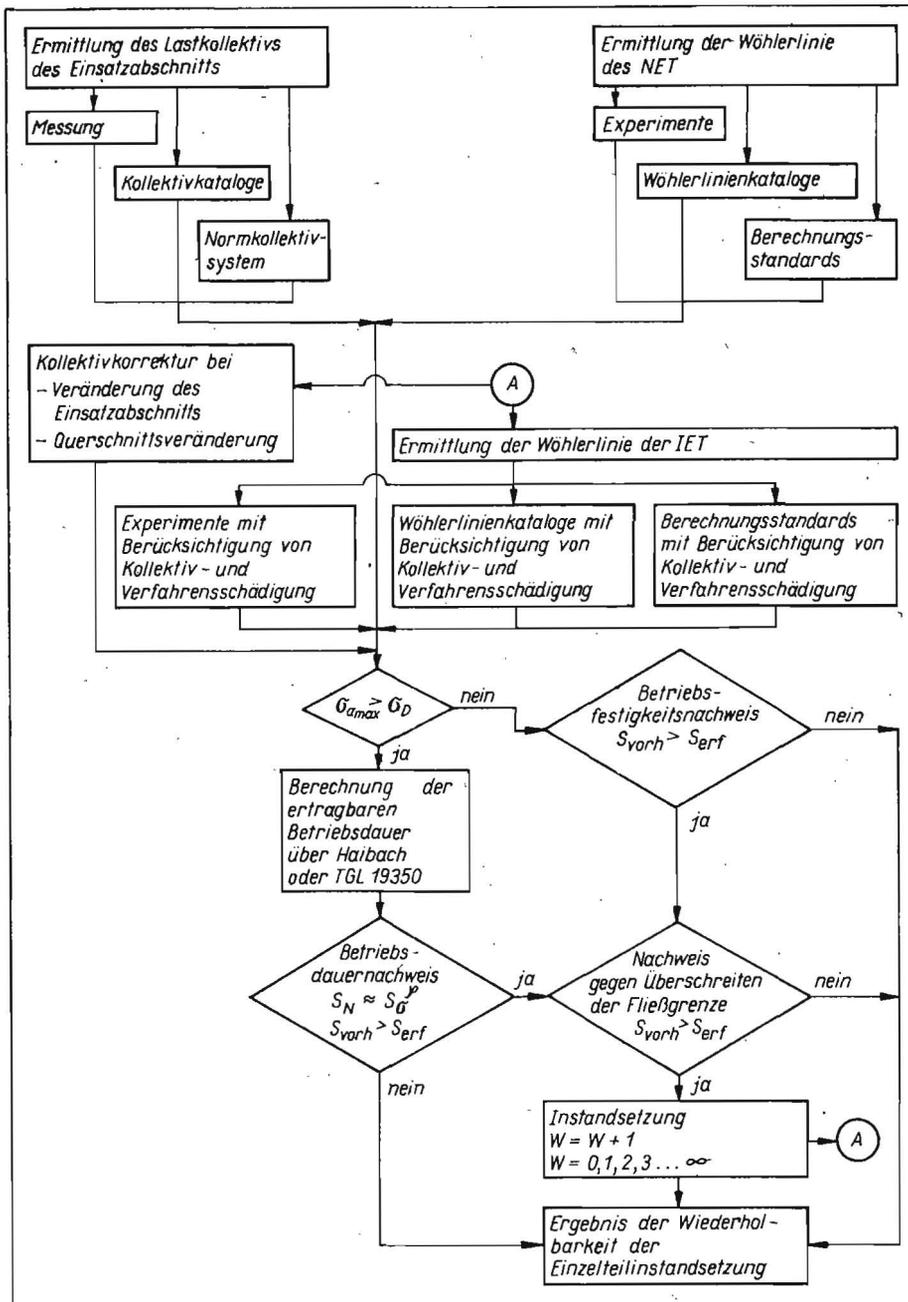
2.2.3. Analytische Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI

Die Voraussetzungen der analytischen Berechnung der ertragbaren Betriebsdauer von NET und IET sind, da die Betriebsdauerfunktion meist nicht vorhanden ist, folgende:

- eine Lastannahme in Form eines aus dem Gesamtnutzungsdauerlastkollektiv abgeleiteten Kollektivs des Einsatzabschnitts
- eine die Bauteileigenschaften kennzeichnende Wöhlerlinie der NET und IET
- eine Schadensakkumulationshypothese.

Bild 1 zeigt die Vorgehensweise zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI. Daraus ist ersichtlich, daß die Ermittlung des Lastkollektivs bzw. der Wöhlerlinien über 3 Wege realisiert werden kann. Da die Ermittlung der Wöhlerlinien für NET entsprechend den Standards des Vorschriftenystems „Schwingfestigkeit von Maschinenbauteilen“ bekannt ist, sie auch auf instand gesetzte Einzelteile, jedoch nur bezüglich der geometri-

Bild 1. Vorgehensweise zur Ermittlung der Wiederholbarkeit (W) der Einzelteilinstandsetzung



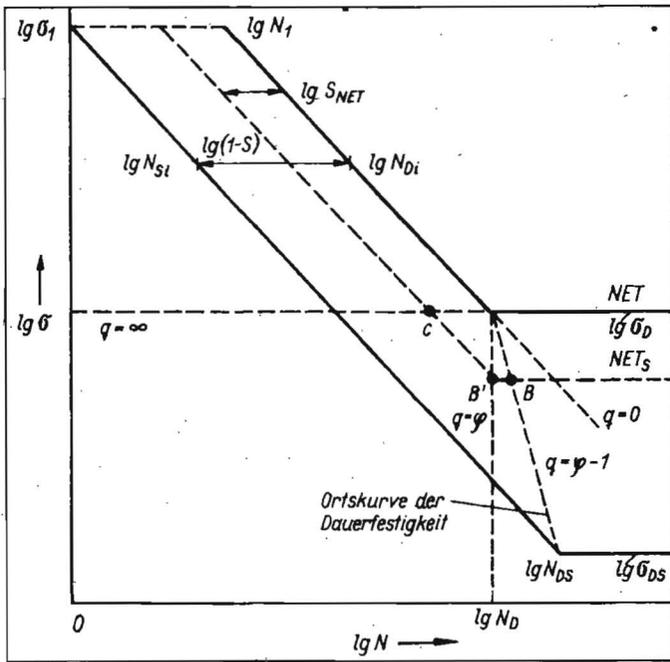


Bild 2
Bezeichnungen für die
Ableitung des Verfah-
rens nach Haibach

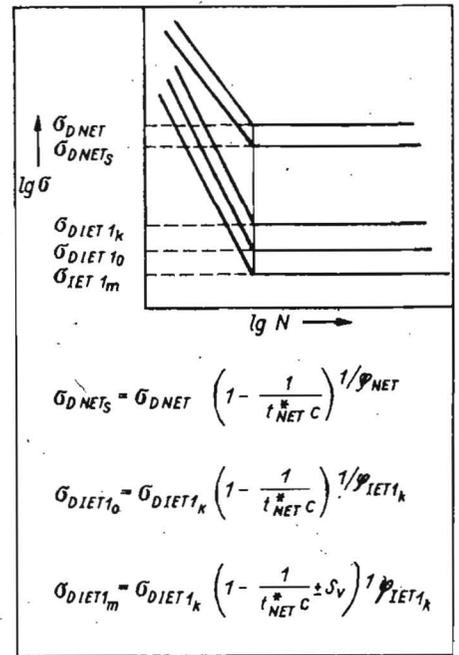


Bild 3
Dauerfestigkeitsabfall
nach Haibach
($q = \varphi$) durch
Kollektiv- und
Verfahrensschädigung
(galvanisches Eisen-
auftragen)
von NET zu IET 1;
 S_v Verfahrensschädigung

schen Ausführung der Kerbung, z. B. einer nachgearbeiteten Welle, angewendet werden kann, galt es, eine Möglichkeit zur Berücksichtigung der Schadensakkumulation des $(n-1)$ -ten Einsatzabschnitts zu entwickeln. Da diese Berücksichtigung auf der Grundlage der Anwendung von Schadensakkumulationshypothesen geschieht, wird der Vorgang im folgenden ausführlich beschrieben.

Als Schadensakkumulationshypothesen wurden Haibach und der Standard TGL 19 350 ausgewählt, da die mit diesen Verfahren ermittelten Ergebnisse gut mit Praxiswerten übereinstimmen.

Verfahren nach Haibach

Die Ableitung des Verfahrens nach Haibach besagt, daß nach einem aufsummierten Schaden S die Ausgangswöhlerlinie zur Wöhlerlinie nach der Vorschädigung verschoben wird (Bild 2). Zunächst zur Berücksichtigung der Schädigung des Einsatzabschnitts der NET und IETn. Unter der Annahme, daß die Wöhlerlinien der NET und NETs parallel sind, kann über den Standard TGL 19 333 die Wöhlerlinie der NETs mit Hilfe der Schädigung des Einsatzabschnitts der NET definiert werden.

Da die anschließende Instandsetzung n -mal wiederholt werden soll und jeweils über den Standard TGL 19 340 die Dauerfestigkeiten bezogen auf den Knickpunkt $N_D = 2 \cdot 10^6$ Schwingspiele (SSp) ermittelt werden, wird zur Vereinfachung des Modells $q = \varphi$ gewählt. Die Wahl von q ist berechtigt, da dieser Faktor ebenfalls eine progressiv abfallende Dauerfestigkeit zur Folge hat.

Durch die Anwendung der ETI, z. B. einer Kombination von Nacharbeits- und Aufarbeitsverfahren, wird zunächst durch die auftretende Kerbung die Dauerfestigkeit des Einzelteils gemindert. Durch den Standard TGL 19 333 wird die Wöhlerlinie für ein einmal instand gesetztes Einzelteil (IET 1) definiert (Bild 3).

Um jedoch zur Wöhlerlinie der IET 1_k zu gelangen, muß die Schädigung des vorangegangenen Einsatzabschnitts berücksichtigt werden.

Weiterhin gilt es, den Verfahrenseinfluß eines Aufarbeitsverfahrens zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich um eine über

den Standard TGL 19 340 nicht erfaßbare Minderung der Dauerfestigkeit. Die Gesamtschädigung setzt sich jeweils aus der Schädigung durch das Kollektiv und die Verfahrensschädigung des Aufarbeitsverfahrens zusammen.

Verfahren nach Standard TGL 19 350

Prinzipiell sind 3 Wege zur Berücksichtigung einer Kollektiv- und Verfahrensschädigung möglich:

- σ_D = konstant
- $N_D, \sigma_D \neq$ konstant
- N_D = konstant.

Zur Vereinfachung soll σ_D = konstant Anwendung finden. Dieser Weg liefert die gleiche Genauigkeit wie die anderen dargestellten Wege. Der Knickpunkt nach der Vorschädigung ergibt sich damit zu:

$$N_{Ds} = N_D(1 - S).$$

Dadurch wird realisiert, daß sich im Fall einer gleichen Kerbung die ertragbare Betriebsdauer zu Anfang des Einsatzabschnitts von der am Ende des Einsatzabschnitts um eine Teilfolgezahl unterscheidet.

Da sich der Verfahrenseinfluß nach der Literatur direkt auf die Dauerfestigkeit bezieht, berechnet sie sich demnach wie folgt:

$$\sigma_{Ds} = \sigma_D(1 - S_v);$$

S_v Verfahrensschädigung.

Sind entsprechend der Methodik experimentelle Untersuchungen zur Wiederholbarkeitsbestimmung gefordert, gilt es, Aussagen zur ökonomischen Auswirkung der ETI zu treffen, anhand der über die Durchführung der Untersuchungen entschieden wird.

2.2.4. Ermittlung der ökonomischen Auswirkung der Anwendung der ETI

Ihle und Rößner erarbeiteten ein Matrizenmodell [8], mit dem es auf der Grundlage der Informationen zum Verteilungstyp der effektiven Lebensdauer möglich ist, die Instandsetzungshäufigkeiten des Einzelteils zu bestimmen. Da in Zukunft verstärkt instand gesetzte Einzelteile Verwendung finden werden, sie aber häufig noch ein anderes Ausfallverhalten als NET haben, galt es, dieser Tatsache in Form einer Weiterentwicklung

des Modells Rechnung zu tragen [10].

Mit Hilfe des weiterentwickelten Modells kann die ökonomische Auswirkung der Anwendung der ETI wie folgt ermittelt werden:

- Ermittlung des Schädigungsverhaltens der NET und IET sowie der Betriebsgrenzen der NET und IET
- Berechnung der Instandsetzungshäufigkeiten im Bereich einer abgeschätzten oder über die Standards überschlägig ermittelten Wiederholbarkeit
- Ermittlung des jährlichen Bedarfs an NET und IET
- Ermittlung der jährlichen Gesamtkosten der NET und IET
- Ermittlung der ökonomischen Auswirkung, bezogen auf nur Neuersatzteileinsatz bzw. auf eine festgelegte Wiederholbarkeit.

Im Ergebnis ist der ermittelte Nutzen mit dem Aufwand z. B. der experimentellen Wiederholbarkeitsermittlung zu vergleichen. Zum einen kann anhand dieses Vergleichs eine Ablehnung bzw. eine Einschränkung der Anzahl der Wiederholungen der ETI erfolgen, zum anderen kann aber auch die Erhöhung der nachzuweisenden Wiederholbarkeit gefordert werden.

2.2.5. Experimentelle Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI

Zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI auf experimentellem Weg existieren folgende Verfahren:

- Prüfung von NET und IET n in der kompletten Maschine unter vorgesehenen Einsatzbedingungen
- Prüfung von NET und IET n in einer Maschine auf erzeignisspezifischen Prüfständen
- Prüfung von NET und IET n auf einer elektro-servo-hydraulischen Prüfanlage mit Hilfe von Random- oder Blockprogrammversuch.

Bei zur Auswahl stehenden Einzelteilen zur Wiederholbarkeitsermittlung traten folgende Probleme auf:

- Die Einzelteile sind sehr unterschiedlich geschädigt, und die bisherige Betriebsdauer ist unbekannt.
- Obwohl die Technologie eine Kennzeich-

nung der Wiederholung der ETI vorsieht, werden die Einzelteile nicht gekennzeichnet.

Ausgehend von diesen Problemen und davon, daß die ersten beiden o. g. Verfahren sehr zeitaufwendig sind, entscheidet man sich zur Schädigung von NET und IET mit Hilfe des Blockprogrammversuchs. Damit wird gewährleistet, daß alle Einzelteile gleichermaßen geschädigt werden.

Die experimentelle Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI erfolgte analog der in [11] dargestellten Vorgehensweise.

Zur Ermittlung der Wöhlerkurve für IET 1 ist die geforderte Stichprobe mit dem Lastkollektiv des Einsatzabschnitts zu belasten und Instand zu setzen, anschließend ist sie im Einstufenversuch zu Bruch zu fahren.

Sind genügend Proben vorhanden, ist die Dauerfestigkeit mit einem geeigneten Verfahren zu ermitteln [12, 13].

Eine Darstellung der jeweiligen Teilfolgenanzahlen über den zugehörigen Wiederholbarkeiten führt zur Bestimmung der zulässigen Wiederholbarkeit.

3. Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI am Achsschenkelbolzen des Zugtraktors ZT 300

Am Achsschenkelbolzen existieren 2 Gleitlagerstöße, die in gleicher Weise durch Nacharbeiten (Schleifen) oder Aufarbeiten (galvanisches Eisenauftragen) instand gesetzt werden.

Die untersuchte Technologie sieht jeweils 3 Schleifstufen vor (Durchmesser: 49,75 mm, 49,50 mm, 49,25 mm). Nachdem der Achsschenkelbolzen auf den Durchmesser von 49,00 mm abgeschliffen wurde, erfolgt das galvanische Eisenauftragen bis auf den Originaldurchmesser von 50 mm.

Aufgrund der mit Einführung des galvanischen Eisenauftragens festgelegten 2maligen Wiederholbarkeit dieses Verfahrens [14] entspricht dies einer theoretischen Nutzung von 12 Einsatzabschnitten mit jeweils 1650 Betriebsstunden.

Die entsprechende Nutzung zeigt, daß durch die Kennzeichnung der durchgeführten Aufarbeitungsmaßnahmen die Begrenzung des galvanischen Eisenauftragens berücksichtigt wird. Jedoch werden alle Instandsetzungen durch Schleifen und die Schädigung des Kollektivs des Einsatzabschnitts in Abhängigkeit von der Anzahl der Instandsetzungen vernachlässigt.

Der Achsschenkelbolzen ist ein Einzelteil, das mit Hilfe der Betriebsfestigkeit für die projektierte Nutzungsdauer des Traktors ZT 300 dimensioniert wurde. Aus diesem Grund und durch die Anwendung der Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus wurde eine ETI möglich.

Die Kenntnis der schädigenden Wirkung der Verfahren der ETI deutet darauf hin, daß dieses Einzelteil begrenzt instandsetzungsfähig sein wird. Die Wiederholbarkeit ist demzufolge analytisch zu ermitteln, und die experimentellen Untersuchungen sind unter Beachtung ökonomischer Prämissen durchzuführen.

3.1. Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI über Standards

Die Ermittlung der Wechselfestigkeit der gekerbten Einzelteile erfolgt nach Standard TGL 19 340. Mit Hilfe des Standards TGL 19 333 wurden die entsprechenden Wöhlerlinien ermittelt.

Tafel 3. Instandsetzungswiederholbarkeit nach Standard TGL 19 350 ($S_v = -30\%$, ohne Berücksichtigung der Streuung der Eingangswerte)

Berechnungsverfahren TGL 19 350		
LK	W_{90}	W_{50}
2 ¹⁾	11	9

1) Hebelarm ohne Verschleißberücksichtigung
LK Lastkollektiv

Die Berechnung der ertragbaren Betriebsdauer erfolgte auf der Grundlage der erarbeiteten Rechenprogramme für Haibach und Standard TGL 19 350.

Die ermittelte Wiederholbarkeit der ETI wird in Tafel 3 dargestellt. Hier fand nur der Standard TGL 19 350 Anwendung, da im Fall des Achsschenkelbolzens eine gute Übereinstimmung mit Ergebnissen von Lebensdauerpunktversuchen vorlag.

Die Ermittlung zeigt, daß unter Berücksichtigung eines Variationskoeffizienten der Bauteilwechselfestigkeit praktische Instandsetzungswiederholbarkeiten wesentlich günstiger widerspiegelt werden können.

3.2. Experimentelle Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI am Achsschenkelbolzen

Mit den experimentellen Untersuchungen galt es, Einflüsse der Kerbung, des galvanischen Eisenauftragens sowie des Lastkollektivs (LK) des Einsatzabschnitts in Abhängigkeit von der Instandsetzung zu klären, um abgeleitet davon eine präzisiertere Rechnung über die Standards zu ermöglichen und deren Anwendbarkeit werten zu können.

Zunächst war es notwendig, die Instandsetzung herauszufinden, bei der der Übergang zur schädigenden Wirkung des Lastkollektivs des Einsatzabschnitts erfolgt. Infolge des zu erwartenden geringen Einflusses der Kerbung wird der Übergang bei der 4. Instandsetzung erwartet, was später im Experiment auch bestätigt wurde. Als Versuchsstand fand eine elektro-servohydraulische Prüfanlage Verwendung [15]. Als Besonderheit ist zum Achsschenkelbolzen erwähnenswert, daß eine Verschiebung der schwingbruchgefährdeten Stelle in Abhängigkeit von der Anzahl der Instandsetzungen auftrat.

Nach Durchführung des Sicherheitsnachweises als Betriebsdauernachweis kann eine Wiederholbarkeit von 7 bestätigt werden. Da in der Praxis Achsschenkelbolzen bei Vernachlässigung der Schädigung des Nacharbeitungsverfahrens bereits bis zu 7mal instand gesetzt werden und eine Begrenzung der Anzahl der Wiederholbarkeit sich nur auf die Anwendung des galvanischen Eisenauftragens bezog, ist der Versuchsaufwand bei diesem Sicherheitsventil aus Schutzgütergründen gerechtfertigt.

Im Vergleich zur projektierten Nutzungsdauer des Traktors ZT 300 von 10 Jahren kann der Achsschenkelbolzen somit 24 Jahre genutzt werden.

Ein Vergleich der Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI über Experimente oder über Standards führt zu Überlegungen zur Anpassung beider Verfahren. Der Verlauf der Wöhlerlinien wurde dabei über Konstanten einander angenähert.

Die somit über die Standards ermittelte Wiederholbarkeit von 8 stimmt sehr gut mit der erwarteten Wiederholbarkeit überein.

4. Schlußbemerkung

Im Beitrag wurden Untersuchungen zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der Einzelteilinstandsetzung vorgestellt. Die Grundlage bildet die Anwendung des Betriebsfestigkeitsnachweises.

Die erarbeitete und anhand der Experimente bestätigte Methodik bietet eine neue Qualität zur Festlegung der Wiederholbarkeit. Auf der Grundlage der ermittelten Wiederholbarkeit ist eine Leistungssteigerung der Einzelteilinstandsetzung in Verbindung mit der Zuverlässigkeitssicherung instand gesetzter Einzelteile bei gleichzeitiger Erhöhung der Nutzungsdauer realisierbar.

Literatur

- [1] Mittag, G.: Direktive des XI. Parteitagess der SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR in den Jahren 1986 bis 1990. Berlin: Dietz Verlag 1986, S. 66.
- [2] Ihle, G.; Opitz, B.: Untersuchung des volkswirtschaftlichen Effektes der Verwendung von instand gesetzten Einzelteilen. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 12, S. 551-553.
- [3] Opitz, B.: Untersuchung des volkswirtschaftlichen Effektes der Verwendung von instand gesetzten Einzelteilen am Beispiel kampagneweise eingesetzter landtechnischer Arbeitsmittel. Technische Universität Dresden, Sektion 16, Dissertation A 1981 (unveröffentlicht).
- [4] Schmidt, A.: Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit instand gesetzter Einzelteile. Technische Universität Dresden, Sektion 16, Dissertation A 1987.
- [5] Organisationsrichtlinie zur Entwicklung und Sicherung der Qualität instand gesetzter Einzelteile und Arbeitsrichtlinie für den Zuverlässigkeitsnachweis und Prüfverfahren von instand gesetzten Einzelteilen. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal 1985.
- [6] Schilling, U.: Beitrag zum analytischen Betriebsfestigkeitsnachweis auf der Grundlage von Normkollektiven am Beispiel des Landmaschinen- und Traktorenbaues. Technische Universität Dresden, Sektion 13, Dissertation A 1976.
- [7] Eichler, C.: Instandhaltungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1977.
- [8] Röbner, K.: Beitrag zur Objektivierung des zuverlässigkeitsorientierten und instandhaltungsgerechten Konstruierens landtechnischer Arbeitsmittel. Technische Universität Dresden, Sektion 16, Dissertation A 1979.
- [9] Wirthgen, G.: Erläuterungen zur Neufassung des DDR-Standards TGL 19 333 „Zeitfestigkeit von Achsen und Wellen“. Schriftenreihe 30, Dresden (1980) S. 64-74.
- [10] Röbner, K.; Schmidt, A.: Optimale Anforderungen an die Zuverlässigkeit von Einzelteilen und Baugruppen. Technische Universität Dresden, Sektion 16, Forschungsbericht 1984.
- [11] Röbner, K.; Schmidt, A.: Untersuchungen zur Wiederholbarkeit der Einzelteilinstandsetzung am Beispiel des Achsschenkelbolzens des Traktors ZT 300. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 11, S. 493-495.
- [12] TGL 19 336 Ermüdungsfestigkeit; Planung und Auswertung von Ermüdungsfestigkeitsversuchen. Aug. Dezember 1983.
- [13] Knobba, R.: Ein Beitrag zur Ermittlung der Dauerfestigkeit elastischer Elemente der Feingerätetechnik. Technische Universität Dresden, Sektion 10, Dissertation A 1984.
- [14] Kennblatt Beschichten - Achsschenkelbolzen des ZT 300. VEB Landtechnisches Instandsetzungswerk Parchim 1977.
- [15] Weygandt, W.: Instandsetzungswiederholbarkeit von Achsschenkelbolzen des ZT 300. Institut für Leichtbau Dresden, Prüfbericht 1986.